

ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU
ŠUMARSKI ODSJEK
SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ
ŠUMARSTVO: UZGAJANJE I UREĐIVANJE ŠUMA S LOVNIM
GOSPODARENJEM

DALIBOR FUNARIĆ

MIKROBIOLOGIJA ŠUMSKIH TALA U OTVORIMA
BUKOVO – JELOVIH ŠUMA

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2017.

ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU
ŠUMARSKI ODSJEK

MIKROBIOLOGIJA ŠUMSKIH TALA U OTVORIMA
BUKOVO – JELOVIH ŠUMA
DIPLOMSKI RAD

Diplomski studij: Šumarstvo, Uzgajanje i uređivanje šuma s lovnom gospodarenjem

Predmet: Opća i krajobrazna ekologija

Ispitno povjerenstvo: 1. doc. dr. sc. Damir Ugarković

2. prof. dr. sc. Ivica Tikvić

3. doc. dr. sc. Stjepan Mikac

Student: Dalibor Funarić

JMBAG: 0068213427

Broj indeksa: 664/2015

Datum odobrenja teme: 20. 04. 2017.

Datum predaje rada: 15. 09. 2017.

Datum obrane rada: 22. 09. 2017.

Zagreb, rujan, 2017.

Dokumentacijska kartica

Naslov	Mikrobiologija šumskih tala u otvorima bukovo – jelovih šuma
Title	Microbiology of forest soils in the forest gaps of beech – fir forests
Autor	Dalibor Funarić
Adresa autora	Kolodvorska 20. Stari Perkovci, 35210 Vrpolje, Hrvatska
Izradu rada pomogao	Dr. sc. Ivan Perković, Pavao Frković univ. bacc. ing. silv., Ante Ivić univ. bacc. ing. silv.
Mjesto izrade	Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Vrsta objave	Diplomski rad
Mentor	Doc. dr. sc. Damir Ugarković
Godina objave	2017.
Obujam	29 stranica, 9 tablica, 15 slika, 23 navoda literature
Ključne riječi	Obična jela, mikrobiološka aktivnost
Key words	Silver fir, microbial activity

Sažetak	<p>Odumiranjem stabala obične jele dolazi do stvaranja manjih ili većih šumskih otvora. Nestankom sklopa krošanja dolazi i do promjene u mikrobiologiji šumskog tla. U velikom šumskom otvoru prisutna je veća brojnost celulolitičkih gljiva i bakterija i odnosu na sklopljenu sastojinu. Nema statistički značajne razlike u mikrobiološkoj atkivnosti malog otvora i sklopljene sastojine. U šumskoj sastojini smanjene vitalnosti je utvrđen značajno manji postotak celulolitičkih gljiva i bakterija u odnosu na vitalnu sastojinu. U sastojini smanjene vitalnosti je drvna zaliha glavnih vrsta drveća bila manja, dok je osutost krošanja bila veća. Šumsko tlo na području istraživanja nije bilo onečišćeno metalima kadmij, bakar, olovo i cink, te nije utvrđen utjecaj metala na mikrobiološku aktivnost u šumskim tlima</p>
---------	---

	<p style="text-align: center;">IZJAVA O IZVORNOSTI RADA</p>	OB ŠF 05 07
		Revizija: 1
		Datum: 28.6.2017.

„Izjavljujem da je moj diplomski rad izvorni rezultat mogega rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.

vlastoručni potpis

Dalibor Funarić

U Zagrebu, 22.09.2017.

Sadržaj

1. UVOD	1
1.1.Šumska biljna zajednica dinarske bukovo-jelove šume s mišjim uhom zapadnih Dinarida.....	1
1.2. Tla jelovih šuma u Hrvatskoj.....	3
1.2.1. Matični supstrat	3
1.2.2. Tla jelovih šuma	4
1.2.3. Produktivnost tala	4
1.3. Mikroorganizmi u prirodi	5
1.4. Značaj mikroorganizama u tlu.....	6
2. CILJ ISTRAŽIVANJA	7
3. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA.....	8
3.1. Područje istraživanja	8
3.2. Klima	10
3.3. Prikupljanje i obrada podataka	11
4. REZULTATI.....	16
4.1. Mikrobiološka aktivnost u šumskim otvorima i sastojinama.....	16
4.2. Drvena zaliha i osutost krošanja u šumskim sastojinama	20
4.3. Onečišćenost šumskog tla s metalima	22
5. RASPRAVA.....	25
6. ZAKLJUČAK	28

7. LITERATURA

Popis slika

Slika 1. Bukovo - jelova šuma s mišjim uhom zapadnih Dinarida (www.likaexpress.hr).....	2
Slika 2. Karta šumarije Fužine (www.javni-podaci.hr/sume.hr).....	9
Slika 3. Klimadijagram za meteorološku postaju Vrelo Ličanke.....	10
Slika 4. Slika plana uzorkovanja šumskog tla u četiri repeticije na šumskom otvoru (lijevo) i kontrolnoj plohi (desno).....	12
Slika 5. Skica plana uzorkovanja šumskog tla u četiri repeticije u vitalnoj šumi i šumi smanjene vitalnosti.....	12
Slika 6. Dezinfekcija pedološke sonde.....	13
Slika 7. Pedološka sonda.....	13
Slika 8. Uzorak tla uzet pedološkom sondom.....	14
Slika 9. Spremljeni uzorak tla.....	14
Slika 10. Drva zaliha vitalne i šumske sastojine smanjene vitalnosti.....	20
Slika 11. Osutost krošanja šumskog drveća u vitalnoj i šumskoj sastojini smanjene vitalnosti.....	20
Slika 12. Onečišćenost šumskog tla kadmijem (Cd).....	22
Slika 13. Onečišćenost šumskog tla bakrom (Cu).....	22
Slika 14. Onečišćenost šumskog tla olovom (Pb).....	23
Slika 15. Onečišćenost šumskog tla cinkom (Zn).....	24

Popis tablica

Tablica 1. Veličine (m ²) šumskog otvora, proširenog otvora i sklopljene sastojine	11
Tablica 2. Rezultati Studentovog t-testa za skupine mikroorganizama u velikom šumskom otvoru i kontrolnoj plohi	16
Tablica 3. Rezultati Studentovog t-testa za skupine mikroorganizama u malom šumskom otvoru i kontrolnoj plohi	16
Tablica 4. Rezultati Studentovog t-testa za skupine mikroorganizama u velikom i malom šumskom otvoru	17
Tablica 5. Rezultati Studentovog t-testa za skupine mikroorganizama u sastojini smanjene vitalnosti i vitalnoj šumskoj sastojini	17
Tablica 6. Odnos koncentracije metala i mikrobiološke aktivnosti u velikom šumskom otvoru	18
Tablica 7. Odnos koncentracije metala i mikrobiološke aktivnosti u malom šumskom otvoru	18
Tablica 8. Odnos koncentracija metala i mikrobiološke aktivnosti u sastojini smanjene vitalnosti	19
Tablica 9. Odnos koncentracije metala i mikrobiološke aktivnosti u vitalnoj sastojini	19

1. UVOD

1.1. Šumska biljna zajednica dinarske bukovo-jelove šume s mišjim uhom zapadnih Dinarida

Dinarska bukovo – jelova šuma s mišjim uhom zapadnih Dinarida (*Omphalodo – Fagetum* Marinček et al. 1992) pridolazi u dinarskoj vegetacijskoj zoni europsko-altimontanskog vegetacijskog pojasa eurosibirsko-sjevernoameričke šumske regije. Pripada svezi *Aremonio-Fagion* i podsvezi *Lamio orvalae-Fagenion*. Zajednica je bogata vrstama ilirskog i južноеuropskoga flornoga elementa, te vrstama koje dolaze u uvjetima hladnije klime s više oborina. Dinarske bukovo – jelove šume prostiru se u Lici, na Velebitu i Plješevici, Velikoj i Maloj Kapeli i u Gorskom kotaru. U arealu ove zajednice prosječna godišnja temperatura je između 7 i 8 °C, dok je ukupna godišnja količina oborina iznad 2000 mm. Tlo na kojima uspijeva su vapnenci i dolomiti, odnosno lesivirana tla, kalkomelansoli i kalkokambisoli. Zajednica uspijeva između dva pojasa čistih bukovih šuma na nadmorskim visinama od 600 m do 1300 m, uglavnom na terenima svih nagiba i ekspozicija (J.Vukelić, 2012).

Glavna vrsta drveća je obična jela, a uz nju pridolazi bukva, gorski javor, te u manjim količinama jarebika. Sloj grmlja čine *Rhamnus alpinus* ssp. *fallax*, *Lonicera xilostemum*, *Lonicera alpigena*, *Daphne mezereum*, *Daphne laureola*. U prizemnom sloju se ističu svojstvene vrste asocijacije *Omphalodes verna* i *Calamintha grandiflora*. Kao što smo gore spomenuli, ilirikoidne vrste su zastupljene u velikom broju. Ističu se *Omphalodes verna*, *Haquetia epipactis*, *Euphorbia carniolica*, *Scopolia carniolica*, *Mercurialis perennis*, *Rhamnus fallax*, *Aremiona agrimonoides*, *Cardamine polyphylla*, *Cyclamen purpurascens*, *Lamium orvala*, *Cardamine enneaphyllos*, *Euonymus latifolius*, *Knautia drymeia* (J.Vukelić i Đ.Rauš, 1998).

Unutar zajednice *Omphalodo-Fagetum* opisano je šest subasocijacija: *homogynetosum*, *galietosum odorati*, *aceretosum pseudoplatani*, *mercurialetosum perennis*, *asaretosum europaeum*, *seslerietosum autumnalis*. Subasocijacija *homogynetosum* pridolazi na

kamenitim trenima Velebita i Gorskog kotara na visinama od 950 m do 1250 m, a razlikovna vrsta je *Homogyne sylvestris*. Na području Gorskog kotara između 750 i 1000 m dolazi subasocijacija *aceretosum pseudoplatani* sa razlikovnom vrstom *Acer pseudoplatanus*.

Subasocijacija *galietosum odorati* dolazi u hladnijem i oborinama bogatijem arealu, a razlikovne vrste su *Galium odoratum*, *Sanicula europaea* i *Cardamine enneaphyllos*. Na nešto sušim i skeletnijim tlima bez klimatskih ekstrema nalazimo *mercurialetosum perennis*. Na visinama od 620 m do 915 m s razlikovnim vrstama *Cyclamen purpurascens*, *Helleborus niger*, *Helleborus odorus*, *Epimedium alpinum* i *Mercurialis perennis*. Niže i suše područje Like zauzima subasocijacija *asaretosum europaeum* s razlikovnom vrstom *Asarum europaeum*. I zadnja subasocijacija, *sesleriotosum autumnalis*, dolazi na visinama od 800 do 900 m u zaleđu Vinodola s većom količinom oborina i razlikovnom vrstom iz reda *Quercetalia pubescentis* (J. Vukelić, 2012).



Slika 1. Bukovo - jelova šuma s mišjim uhom zapadnih Dinarida (www.likaexpress.hr)

1.2. Tla jelovih šuma u Hrvatskoj

Šume obične jele u Hrvatskoj su ekosustavi altimontanskog vegetacijskog pojasa. Upravo karakter toga areala je bitan pokazatelj pedosfere ove zajednice. Prema Pernaru (2001.) matični supstrat i reljef su glavni pedogenetski čimbenici definiranja u arealu jele, dok je utjecaj klime i organizama naveden kao jedinstveno obilježje altimontanskog pojasa.

1.2.1. Matični supstrat

Matični supstrat je temeljni izvor tvari u tlu. Tako su u arealu jele karbonatnost i trošivost kriteriji koji su se koriste za podjelu matičnih supstrata. S obzirom na te podatke, govorimo o karbonatnim i nekarbonatnim supstratima i o fizički teško i lako trošivim supstratima, te nevezanim sedimentima. Nekarbonatni supstrati su karakteristični za panonski i alpski geotektonski sektor. U dinarskom arealu jele to se odnosi na područje Velebita i Gorskog kotara u enklavama u kršu. Karbonatne matične supstrate pronalazimo većinom na mezozojskim vapnencima dinarskog krša, dok se u panonskom i alpskom geotektonskom sektoru pronalaze mozaici vapnenca, dolomita i lapora, odnosno pojava kalcitnih pješčenjaka i metamorfita (N. Pernar, 2001).

Dinarski dio areala ističe se po tome što su jurski i kredni vapnenci dominantna litološka sastavnica pedogeneze. Geološku građu Gorskog kotara karakteriziraju naslage različite starosti, od karbona do holocena. Najznačajnije stijene i matični supstrati su vapnenci i dolomiti (kalkarenit, vapneni dolomit, dolomitni kalkarenit), te uz njih dolaze vapnene breče i kvarcalkarenit. U Gorskom kotaru razlikujemo dvije serije paleozojskih sedimentata: starija (glineno – pješčenjačka) i mlađa (pješčenačko – konglomeratna). Pernar (2001) navodi da se geološke starije naslage izdavaju u pet enklava:

1. Trokut između Skrada, Ravne Gore i Delnica
2. Područje oko Broda na Kupi, doline Dobre s okolnim grebenima do Gomirja
3. Fužine i Brloško
4. Lokvarsko jezero – Mrzla Vodica – Crni Lug
5. Područje Tršća i Gerova, te jugoistočno od Gerova.

Valja istaknuti da se kod Fužina javljaju i eruptivne stijene kao porfirit, a susreću se akumulacije pleistocenskih klastičnih sedimentata i morenskog i proluvijskog karaktera. U

Gorskom kotaru matični supstrat je vodeći pedogenetski čimbenik, pa se može reći da u strukturi zemljišnog pokrova prevladavaju lito sekvencije.

Zaključiti možemo da su najprošireniji matični suptrati tala u arealu jelovih šuma Hrvatske vapnenci i dolomiti, te da najvažniju pedogenetsku ulogu ima njihova topivost, količina netopiva ostatka i karaktera uslojenosti (N. Pernar, 2001).

1.2.2. Tla jelovih šuma

Tla koja su razvijena na prethodno navedenim matičnim supstratima je serija tala od kamenjara, crnica, rendzina, smeđih tala i luvisola. Upravo na tim tlima je narasprostranjenija zajednica *Omphalodo – Fagetum*. Točnije Marinček et al. 1992. navodi da je razvijena na organomineralnim i posmeđenim crnicama, rendzinama na dolomitu i moreni, varijetetima smeđih tala na vapnencima i dolomitima, smeđim ilimeriziranim tlima na vapnencima i deluvijalnim i ilimeriziranim tlima vrtača. Osim navedenih tala, u širem području Gerova, Tršća, Crnog Luga, Lokava, Fužina, područje Skrada i Kupjaka, te područje između Broda na Kupi i Gomirja, u obliku enklava nalazimo distrično smeđe tlo, brunipodzol i podzol (N. Pernar, 2001).

1.2.3. Proizvodnost tala

Na temelju proizvodnosti jele i bukve Martinović (1974) dijeli tla Gorskog kotara u tri skupine:

- I. Distrični silikatni koluvij, duboka distrična smeđa tla, duboki brunipodzoli i luvisoli na vapnencu – najproduktivnija tla
- II. Podzol, srednje duboka distrična smeđa tla i srednje duboka smeđa tla na vapnencima i dolomitima – osrednje produktivna tla
- III. Plitka i erodirana smeđa tla na vapnencima i dolomitima te plitke i srednje duboke rendzine i crnice – najmanja proizvodnost (N. Pernar, 2001).

1.3. Mikroorganizmi u prirodi

Mikroorganizmi su najstariji predstavnici živog svijeta u prirodi, te naseljavaju gotovo svaki kutak planeta Zemlje. Karakteristike koje im to omogućavaju su prije svega adaptacija na razne uvjete u prirodi i stvaranje odgovarajućih uvjeta za opstanak. Osnovna uloga mikroorganizama u prirodi je mineralizacija organske tvari, koja omogućuje održavanje živoga svijeta u prirodi, a kruženje tvari i energije u prirodi omogućuje povezivanje geoloških sfera živog svijeta. Područja na Zemlji u kojima ima živoga svijeta se zajednički nazivaju biogesfera. Biogeosferu čine pedosfera, biosfera, hidrosfera i atmosfera. U svim sferama se pojavljuju mikroorganizmi, ali zbog povoljnih uvjeta za razvoj u pedosferi ih ima najviše.

Mikroorganizmi koje nalazimo u tlu se svrstavaju u četiri skupine: praživotinje, gljive, bakterije i virusi. Bakterije su najbrojnije, ali nisu i najznačajnije. Gljive čine važnu skupinu organotrofnih organizama za razgradnju organskih ostataka u tlu, te je samim time i njihovo značenje veliko. Iako mikroorganizmi čine manje od 0,5 % mase tla, njihov utjecaj na procese u tlu i svojstva tla je presudan. Mikroorganizmi u tlu prerađuju organske ostatke tla u humusne tvari, koje se daljnjom mineralizacijom pretavaruju u mineralne biljne asimilative. Ovi procesi doprinose održavanju plodnosti tla. U tlima postoji vrlo brojna i raznolika skupina mikroorganizama koja posjeduje proteolitičke enzime te je u mogućnosti razgrađivati proteinske ostatke koji dolaze u tlo. Iz tog razloga se razgradnja proteina odvija u svim uvjetima tla, a brojnost proteolitičkih mikroorganizama u tlima, posebno u površinskom horizontu se kreće od 10^5 - 10^7 /g tla. Proces razgradnje proteina naziva se amonifikacija, a ova skupina mikroorganizama – amonifikatori (Ugarković 2009). Celuloza je najzastupljeniji organski spoj u prirodi i prevladavajući ugljični konstituent viših biljaka. U tlu svakodnevno kroz organske ostatke dolaze velike količine celulozne mase koju razgrađuje skupina celulolitičkih bakterija, gljiva i nešto manje aktinomiceta. Ova skupina mikroorganizama je posebno značajna u šumskim tlima u kojim su još znatnije količine celuloznih tvari koje dolaze u tlo kroz drvenaste dijelove i lisnu masu (Ugarković 2009).

Kvaliteta i kvaniteta organske tvari značajno utječe na raspored biomase, aktivnosti, raznolikosti i brojnosti mikoorganizama u tlu. Najbrojniji organizmi u tlu u organotrofi. Organsku tvar potrebnu za njihov razvoj dobivamo iz korijenja biljaka, uginulih životinja, mikroorganizama i organskih ostataka biljaka. Upravo ugljik koji je sadržan u korijenu biljaka je glavni razlog da je površinski dio (rizosfera) najaktivniji dio tla. Porastom dubine tla i sama aktivnost mikoorganizama opada. Raspored mikoorganizama u tlu može biti horizontalan i vertikalni. Horizontalni raspored se odražava na temelju ekoloških uvjeta u raznim područjima, utjecaju klimatskih faktora (temperatura, vlaga) i bogatstvu organskih tvari. Vertikalni raspored ovisi o tipu tla, fizikalnim i kemijskim karakteristikama tla i utjecaju rizosfere.

1.4. Značaj mikroorganizama u tlu

Mikroorganizmi tla sudjeluju u kruženju biljnih hranjiva, razgradnji biljnih ostataka i stvaranju humusa, važni su za očuvanje stabilnosti strukture tla te detoksikaciju pesticida i drugih ksenobiotika (teški metali, industrijski otpad i ostalo). Mikroorganizmi su osjetljivi na kvalitetu tla. Osjetljivi su i brzo reagiraju na promjene uvjeta u okolišu, te zato ukazuju na razne promjene u okruženju (onečišćenje teškima metalima, štetni utjecaji...) . Važnost mikroorganizama se ogleda i u monitoringu tla iz razloga što su jednostavni za mjerenje, jednako funkcioniraju u svim uvjetima okoliša i pouzdano otkrivaju problem, ako ga ima. Mikroorganizmi sudjeluju u oksidaciji, redukciji i imobilizaciji anorganskih spojeva u tlu, nadalje sudjeluju u procesu kruženja ugljika i dušika, pretvorbi fosfora, kalija, sumpora, željeza i drugih mineralnih tvari. Mikroorganizmi sintetiziraju različite sastojke važne za rast viših biljaka : auksine, enzime, vitamine, animokiseline, antibiotike, toksine i dr.

2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Ciljevi ovog diplomskog rada su:

- Odrediti reakciju šumskog tla u šumskim otvorima i pripadajućim kontrolnim ploham (sklopljena sastojina)
- Odrediti zastupljenost pojedinih funkcionalnih skupina mikroorganizama (celulolitičkih gljiva, celulolitičkih bakterija i amnifikatora) u šumskim otvorima nastalim odumiranjem stabala i pripadajućim kontrolnim ploham
- Usporediti zastupljenost pojedinih funkcionalnih skupina mikroorganizama između šumskih otvora različitih veličina
- Usporediti zastupljenost pojedinih funkcionalnih skupina mikroorganizama u vitalnoj i sastojini smanjene vitalnosti.

3. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

3.1. Područje istraživanja

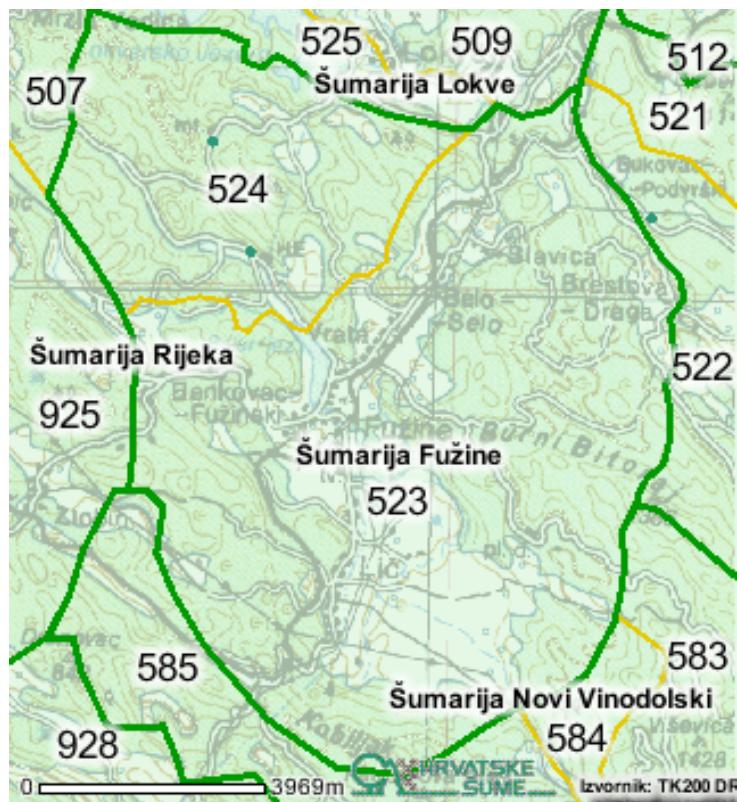
Zemljopisni položaj i šumski ekosustavi

Grad Fužine se nalazi u Primorsko – goranskoj županiji. Nalazi se na južnoj obali Bajerskog jezera. Zapadno je Benkovac Fužinski, sjeveroistočno su Vrata i Belo Selo, istočno je jezero Potkoš, južno su Banovina i Lič. Nadmorska visina naselja je oko 720 m. Gospodarska jedinica "Kobiljak-Bitoraj" nalazi se u sklopu šumarije Fužine (Slika 2), uz gospodarske jedinice "Brloško" i "Fužine" Unutar našeg područja istraživanja (gospodarska jedinica "Kobiljak-Bitoraj"), pridolaze tri biljne zajednice:

- a) Šuma bukve i jele
- b) Predplaninske bukove šume
- c) Šuma i šikara crnog graba sa jesenskom šašikom

U uređajnom zapisniku Osnove gospodarenja GJ „Kobiljak -Bitoraj“ zapisano je da pridolaze četiri vrste tala:

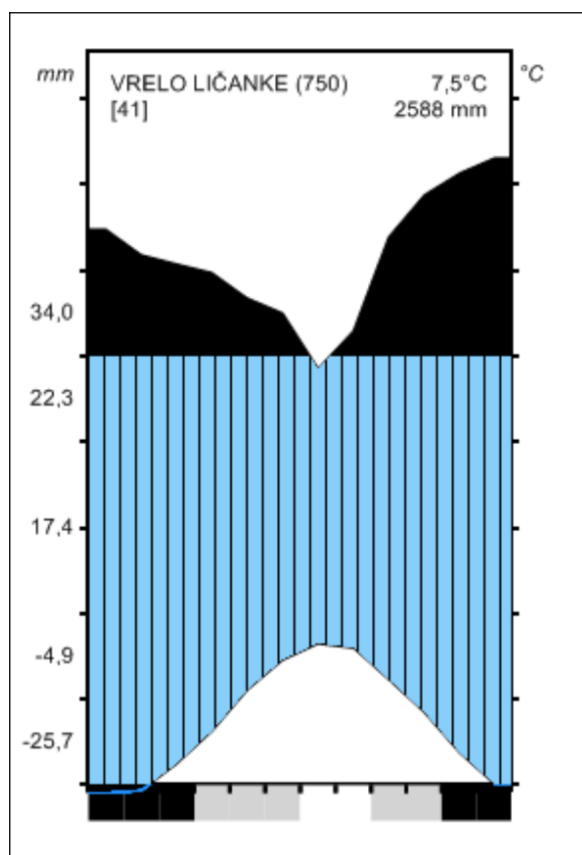
- a) Distrično smeđe tlo
- b) Smeđe tlo na vapnencu i dolomitu
- c) Crnica na vapnencu i dolomitu
- d) Lesivirano tlo na vapnencu i dolomitu



Slika 2. Karta šumarije Fužine (www.javni-podaci.hrsume.hr)

3.2. Klima

Klima područja istraživanja je analizirana na osnovu klimadijagrama za meteorološku postaju Vrelo Ličanke (slika 3.) koja se nalazi u neposrednoj blizini pokusnih ploha. Prema Koppenu, ovo je područje umjereno tople kišne klime tipa Cfsbx" , nema sušnog razdoblja, s maritimnim oborinskim režimom tj. minimum oborina pada u najtoplije godišnje doba. Prema vrijednostima Langovog kišnog faktora, klima ovog područja je perhumidna i nema niti jednog aridnog mjeseca. Srednja godišnja temperatura zraka je iznosila 7,3 °C. Najhladniji mjesec je siječanj, a najtopliji srpanj. Apsolutni minimum je iznosio -25,7 °C, a apsolutni maksimum temperature zraka je iznosio 34,0 °C. Prosječna godišnja količina oborina oko 2500 mm. Područje istraživanja ima maritimni oborinski režim, veći dio oborina padne tijekom hladnijeg dijela godine. Maksimalne mjesečne količine oborina padnu u kasnu jesen ili početkom zime, a srpanj je mjesec s najmanjom količinom oborina.



Slika 3. Klimadijagram za meteorološku postaju Vrelo Ličanke

3.3. Prikupljanje i obrada podataka

Na području G. J. “Kobiljak - Bitoraj“ u odjelu 31 u dinarskoj bukovo-jelovoj šumi, postavili smo pokus u dva šumska otvora s pripadajućom kontrolnom pokusnom plohom u sklopljenoj sastojini, dobre vitalnosti. Isto tako odabrali smo jednu sklopljenu sastojinu lošije vitalnosti.

Sve pokusne plohe su se nalazile u istim pedološkim i reljefnim uvjetima. Geološka podloga je vapnenac, a tlo je smeđe tlo na vapnencu (kalkokambisol). Šumski otvori su nastali sanitarnom sječom stabala obične jele (*Abies alba* Mill.) i bili su stari trinaest godina. Rub šumskog otvora je određen vertikalnom projekcijom krošanja rubnih stabala oko otvora (Runkle, 1982; Rozenberger et al., 2007). Unutar svakog otvora izmjerili smo dužu i kraću stranu otvora, odnosno postavili smo poligoni vlak oko samog šumskog otvora. Površinu šumskih otvora izračunali smo prema formuli za elipsu (Runkle, 1982).

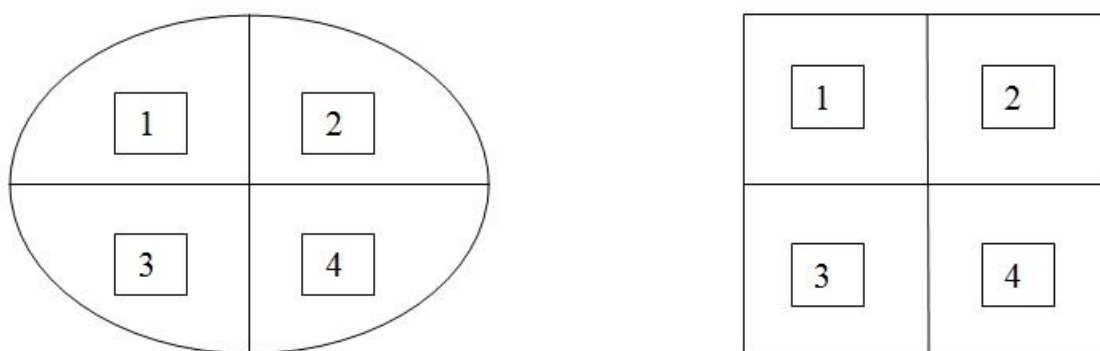
Tablica 1. Veličine (m²) šumskog otvora, proširenog otvora i sklopljene sastojine

Pokusne plohe	Veličina (m ²)
VO	1 152
MO	573
KT 1 (smanjene vitalnosti)	250
KT 2 (vitalna)	250

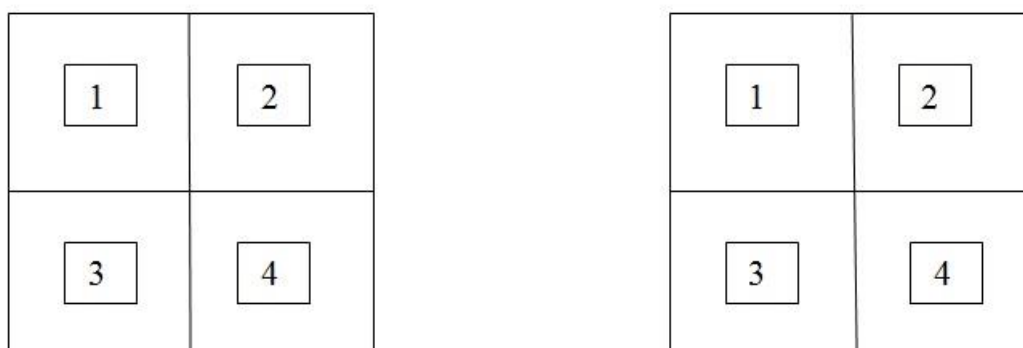
VO = veliki otvor, MO = mali otvor

Pripadajuće kontrolne plohe tj. sklopljene sastojine su dimenzija 50 x 50 m, tj. površine 250 m². Podatke o drvnoj zalihi kontrolnih ploha smo preuzeli iz obrazaca O-3 Programa gospodarenja gospodarskom jedinicom.

Vitalnost sklopljenih sastojina smo odredili na temelju procjene osutosti krošanja stabala glavnih vrsta šumskog drveća, obične jele i obične bukve. Procjena je obavljena u srpnju i kolovozu 2016. godine na stablima Kraftove klasifikacije 1, 2 i 3 (predominantna, dominantnim i kodominantna stablima). Uspoređivana je osutost krošanja stabala na terenu s teoretskim referentnim stablom u foto priručniku. Procjena je izvršena u postotku (%) na 5 %. Uzorkovanje tla smo izvršili pedološkom sondom na dubini do 10 cm. Na svakoj pokusnoj plohi sakupili smo uzorke šumskog tla u četiri ponavljanja.

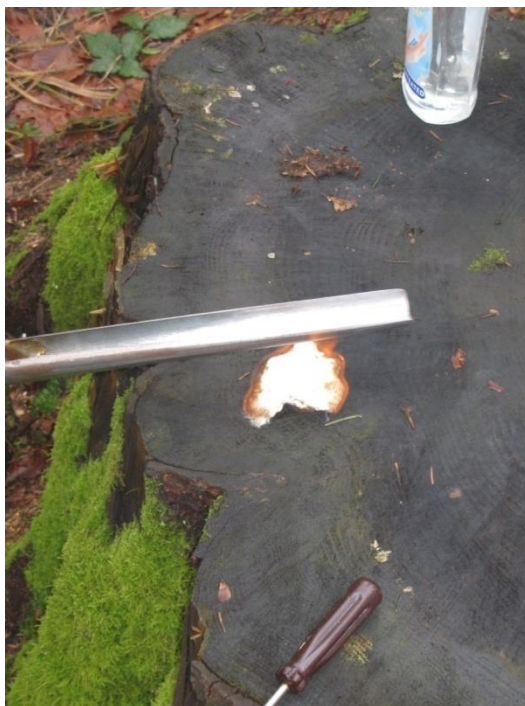


Slika 4. Slika plana uzorkovanja šumskog tla u četiri repeticije na šumskom otvoru (lijevo) i kontrolnoj plohi (desno)



Slika 5. Skica plana uzorkovanja šumskog tla u četiri repeticije u vitalnoj šumi i šumi smanjene vitalnosti

Na svakoj pokusnoj plohi sakupili smo uzorke šumskog tla u četiri ponavljanja. Uzorci šumskog tla su sakupljeni u tri termina, lipanj i kolovoz 2016. godine, te svibanj 2017. godine. Ukupno je sakupljeno i obrađeno 48 uzoraka šumskog tla. Analize su obavljene u Zavodu za mikrobiologiju Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Od kemijskih analiza određen je pH tla.



Slika 6. Dezinfekcija pedološke sonde



Slika 7. Pedološka sonda

Mikrobiološkim analizama određena je zastupljenost celulolitičkih gljiva i bakterija (Anon., 1966), te zastupljenost amonifikatora metodom najvjerojatnijeg broja (Most Probable Number) MPN metodom na mikrotitarskim pločama (Schmidt and Belser, 1994).



Slika 8. Uzorak tla uzet pedološkom sondom



Slika 9. Spremljeni uzorak tla

Koncentracije kadmija (Cd), bakra (Cu), olova (Pb) i cinka (Zn) na uzorcima šumskog tla su napravljena u Zavodu za ekologiju i uzgajanje šuma Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Analize su napravljene u ekstrakciji s H₂O na ICP-AES spektrometru. Klasifikacija onečišćenja tla također se prema Bašiću (1994) vrši usporedbom utvrđenog onečišćenja s graničnom vrijednosti, odnosno putem stupnja onečišćenja - So : $So = \text{Sadržaj u tlu (mg/kg)} / \text{granična vrijednost}$, gdje So predstavlja odnos utvrđenog onečišćenja prema maksimalno dopuštenom onečišćenju odnosno graničnoj vrijednosti definiranoj Pravilnikom (Anon. 2014). Na temelju toga se tla razvrstavaju u pet razreda:

I RAZRED: Čisto tlo - So do 0,25,

II RAZRED: Tlo povećane onečišćenosti - So 0,25-0,50

III RAZRED: Tlo velike onečišćenosti - So 0,5-1,00

IV RAZRED: Onečišćeno tlo - So 1,00-2,00

V RAZRED: Zagađeno tlo - So preko 2,00.

Statistička obrada podataka (deskriptivna statistika, Studentov t-test, neparametarska korelacija) provedena je u statističkom programu Statistica 7.1. (StatSoft, Inc. 2003).

4. REZULTATI

4.1. Mikrobiološka aktivnost u šumskim otvorima i sastojinama

Tablica 2. Rezultati Studentovog t-testa za skupine mikroorganizama u velikom šumskom otvoru i kontrolnoj plohi

ph / mikroorganizmi	OT 1	KT 1 (kontrola)	Razina značajnosti
	Prosjek ± St. Dev.		
pH	4,55 ± 0,43	4,58 ± 0,37	ns
Celulolitičke gljive (%)	20,22 ± 5,70	10,00 ± 6,21	*
Celulolitičke bakterije (%)	70,55 ± 20,39	63,77 ± 20,39	*
Amonifikatori (CFU 1 x 10 ⁵)	4,38 ± 1,46	5,40 ± 3,71	ns

ns = nesignifikantno, * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$, OT 1= veliki otvor. KT 1= sastojina smanjene vitalnosti

U tablici 2 je prikazana usporedba pH vrijednosti i mikrobiološke aktivnost šumskog tla u velikom otvoru i kontrolnoj sklopljenoj sastojini. Postotak celulolitičkih gljiva je iznosio 20,22 %, a celulolitičkih bakterija 70,55 % u velikim šumskom otvoru. Ovi postotci su značajno veći ($p < 0,05$) u odnosu na sklopljenu sastojinu.

Tablica 3. Rezultati Studentovog t-testa za skupine mikroorganizama u malom šumskom otvoru i kontrolnoj plohi

ph / mikroorganizmi	OT 2	KT 2 (kontrola)	Razina značajnosti
	Prosjek ± St. Dev.		
pH	5,13 ± 0,66	4,58 ± 0,37	*
Celulolitičke gljive (%)	12,11 ± 3,33	10,00 ± 6,21	ns
Celulolitičke bakterije (%)	65,77 ± 17,57	63,77 ± 20,39	ns
Amonifikatori (CFU 1 x 10 ⁵)	4,44 ± 1,97	5,40 ± 3,71	ns

ns = nesignifikantno, * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$, OT 2 = mali otvor, KT 2 = vitalna sastojina

Nisu utvrđene statistički značajne razlike u postotku celulolitičkih gljiva i bakterija, te broja amonifikatora u tlu malog šumskog otvora u odnosu na kontrolnu plohu (tablica 3).

Tablica 4. Rezultati Studentovog t-testa za skupine mikroorganizama u velikom i malom šumskom otvoru

ph / mikroorganizmi	OT 1	OT 2	Razina značajnosti
	Prosjek ± St. Dev.		
pH	4,55 ± 0,43	5,13 ± 0,66	ns
Celulolitičke gljive (%)	20,22 ± 5,70	12,11 ± 3,33	**
Celulolitičke bakterije (%)	70,55 ± 20,39	65,77 ± 17,57	ns
Amonifikatori (CFU 1 x 10 ⁵)	4,38 ± 1,46	4,44 ± 1,97	ns

ns = nesignifikantno, * p < 0,05; **p < 0,01, OT 1 = veliki otvor, OT 2 = mali otvor

Postotak celulolitičkih gljiva u malom šumskom otvoru je iznosio 12,11 %. Ovaj postotak je značajno manji (p < 0,01) u odnosu na postotak celulolitičkih gljiva u tlu velikog šumskog otvora (tablica 4).

Tablica 5. Rezultati Studentovog t-testa za skupine mikroorganizama u sastojini smanjene vitalnosti i vitalnoj šumskoj sastojini

ph / mikroorganizmi	KT 1	KT 2	Razina značajnosti
	Prosjek ± St. Dev.		
pH	4,82 ± 0,48	4,58 ± 0,37	ns
Celulolitičke gljive (%)	2,77 ± 4,63	10,00 ± 6,21	*
Celulolitičke bakterije (%)	41,44 ± 10,86	63,77 ± 20,39	*
Amonifikatori (CFU 1 x 10 ⁵)	4,17 ± 3,68	5,40 ± 3,71	ns

ns = nesignifikantno, * p < 0,05; **p < 0,01, KT 1= sastojina smanjene vitalnosti, KT 2=vitalna sastojina

Postotak celulolitičkih gljiva u tlu sastojine smanjene vitalnosti je iznosio 2,77 %, a u tlu vitalne sastojine 10,00 %. Postotak celulolitičkih bakterija u tlu sastojine smanjene vitalnosti

je bio 41,44 %, a u tlu vitalne sastojine je bio 63,77 % (tablica 5). Ove razlike su bile i statistički značajne ($p < 0,05$).

Tablica 6. Odnos koncentracije metala i mikrobiološke aktivnosti u velikom šumskom otvoru

Variable	OT 1 Cd	OT 1 Cu	OT 1 Pb	OT 1 Zn
OT 1 pH	-0,34	-0,58	-0,59	0,00
OT 1 Celulolitičke gljive (%)	0,10	-0,38	0,23	0,00
OT 1 Celulolitičke bakterije (%)	-0,14	0,21	-0,07	0,00
OT 1 Amonifikatori (MPN)	0,40	0,21	0,03	0,00

Nisu postojale statistički značajne korelacije između pH tla i mikrobiološke aktivnosti te koncentracije metala u tlu velikog šumskog otvora (tablica 6).

Tablica 7. Odnos koncentracije metala i mikrobiološke aktivnosti u malom šumskom otvoru

Variable	OT 2 Cd	OT 2 Cu	OT 2 Pb	OT 2 Zn
OT 2 pH	0,07	-0,42	-0,65	0,00
OT 2 Celulolitičke gljive (%)	-0,43	0,43	0,23	0,00
OT 2 Celulolitičke bakterije (%)	-0,04	-0,52	-0,16	0,00
OT 2 Amonifikatori (MPN)	-0,16	0,33	0,33	0,00

Prema rezultatima u tablici 7. nisu utvrđene korelacije između pH tla i zastupljenosti pojedinih skupina mikroorganizama tla s koncentracijom metala u malom šumskom otvoru.

Tablica 8. Odnos koncentracija metala i mikrobiološke aktivnosti u sastojini smanjene vitalnosti

Variable	KT 1 Cd	KT 1 Cu	KT 1 Pb	KT 1 Zn
KT 1 pH	-0,09	-0,09	0,04	0,00
KT 1 Celulolitičke gljive (%)	0,33	0,39	0,63	0,00
KT 1 Celulolitičke bakterije (%)	0,07	0,21	-0,50	0,00
KT 1 Amonifikatori (MPN)	-0,11	-0,14	-0,57	0,00

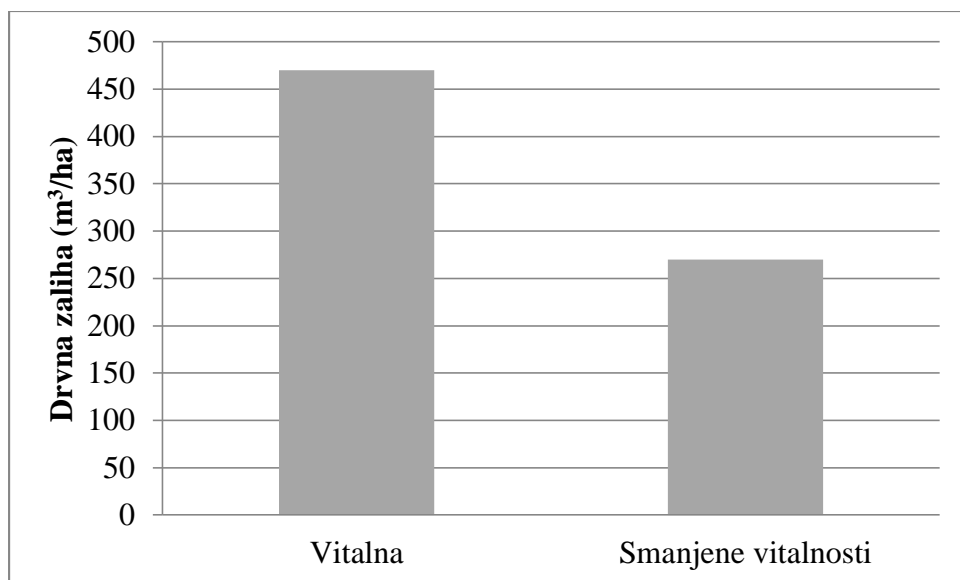
U sastojini smanjene vitalnosti nisu postojale statistički značajne korelacije između mikrobiološke aktivnosti i sadržaja metala u tlu (tablica 8).

Tablica 9. Odnos koncentracije metala i mikrobiološke aktivnosti u vitalnoj sastojini

Variable	KT 2 Cd	KT 2 Cu	KT2 Pb	KT 2 Zn
KT 2 pH	-0,94*	-0,82*	-0,78*	0,00
KT 2 Celulolitičke gljive (%)	-0,35	-0,23	-0,57	0,00
KT 2 Celulolitičke bakterije (%)	-0,34	-0,49	-0,88*	0,00
KT 2 Amonifikatori	0,30	0,76*	0,53	0,00

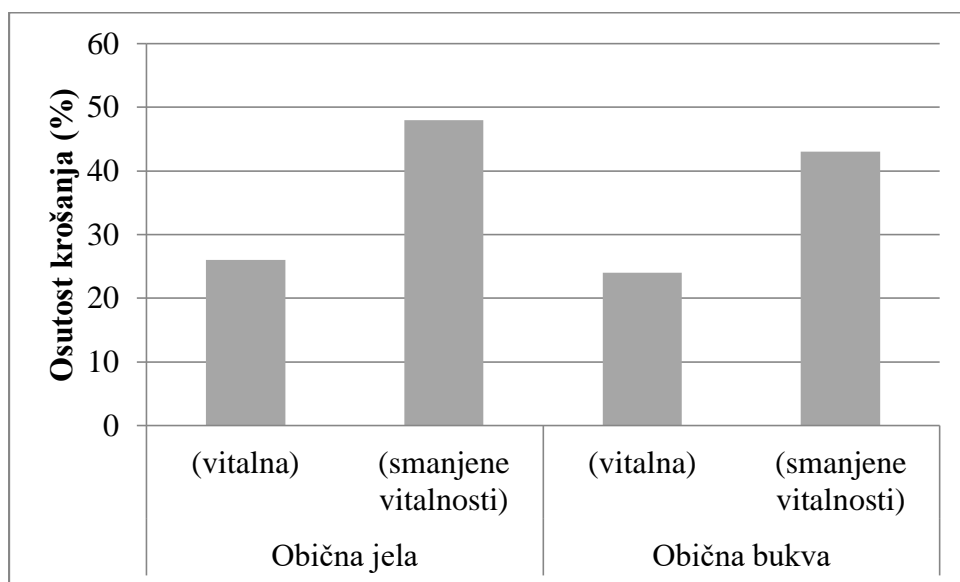
Prema rezultatima prikazanim u tablici 9. u vitalnoj sastojini smo utvrdili značajne i negative korelacije između pH tla i kadmija, bakra i olova (-0,94*, -0,82*, -0,78*). Korelacija između postotka celulolitičkih bakterija i koncentracije olova je bila negativna (-0,88*), a između broja amonifikatora i bakra je bila pozitivna (0,76*).

4.2. Drvna zaliha i osutost krošanja u šumskim sastojinama



Slika 10. Drva zaliha vitalne i šumske sastojine smanjene vitalnosti

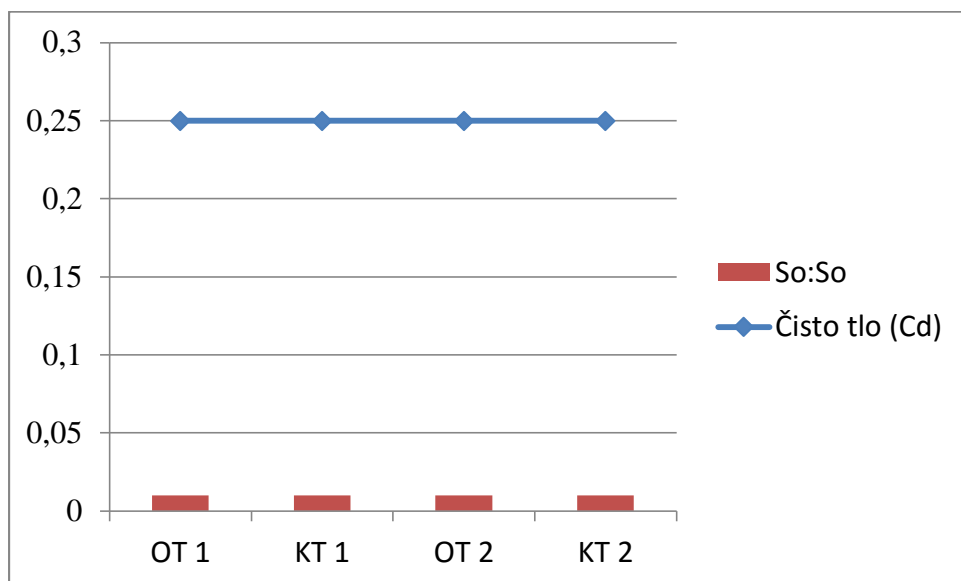
Ukupna drvna zaliha vitalne sastojine je iznosila 470 m³/ha, a sastojine smanjene vitalnosti 270 m³/ha (slika 10).



Slika 11. Osutost krošanja šumskog drveća u vitalnoj i šumskoj sastojini smanjene vitalnosti

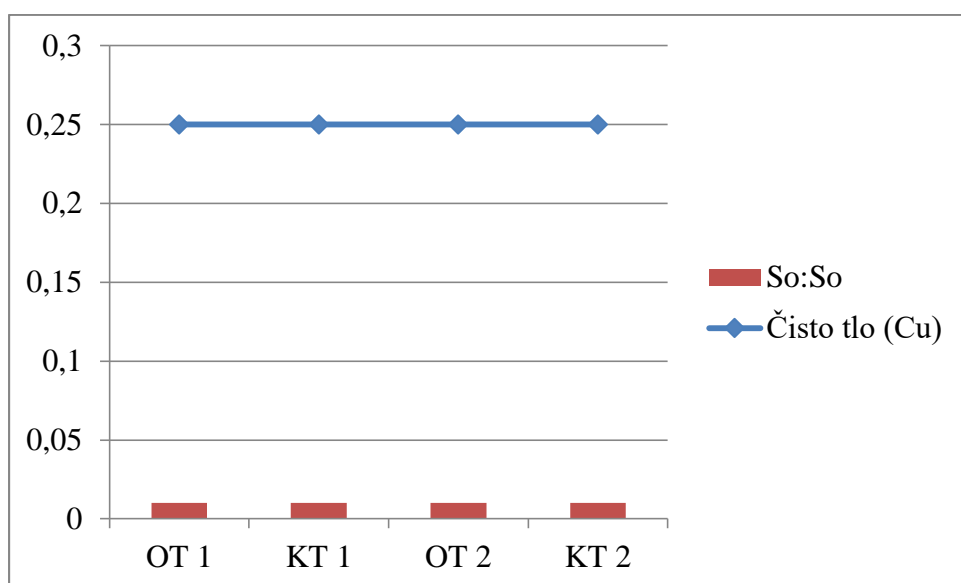
Prosječna osutost krošanja stabala obične jele u vitalnoj sastojini je bila 26 %, a u smanjene vitalnosti 48 %. Prosječna osutost krošanja stabala obične bukve u vitalnoj sastoji je iznosila 24 %, a u smanjene vitalnosti 43 % (slika 11).

4.3. Onečišćenost šumskog tla s metalima



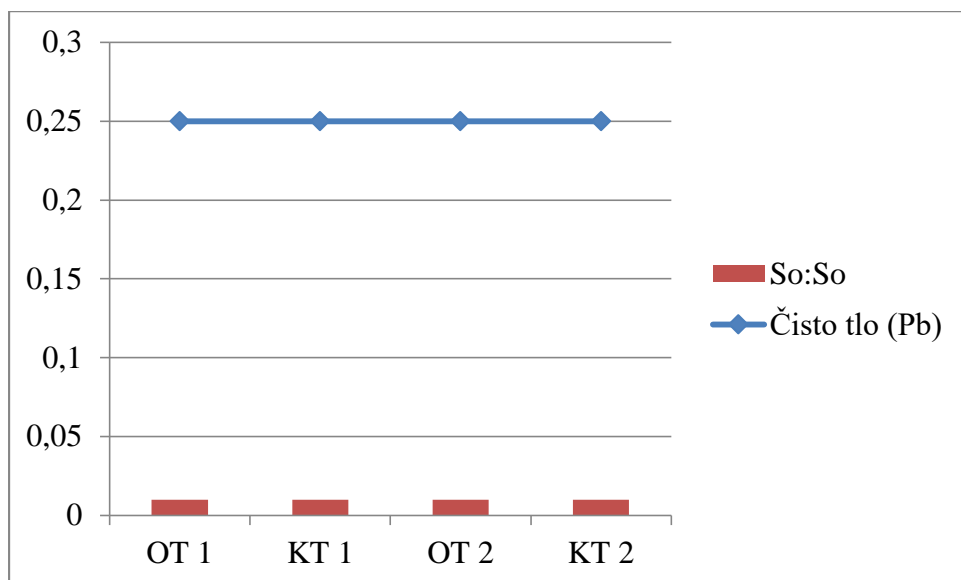
Slika 12. Onečišćenost šumskog tla kadmijem (Cd)

Na slici 12. je prikazan stupanj onečišćenja šumskog tla kadmijem (Cd). Na svim je pokusnim ploham odnos graničnog onečišćenja i utvrđenog onečišćenja kadmijem iznosio 0,01. Time su uzorci tla svrstani u I razred tj. u kategoriju čisto tlo.



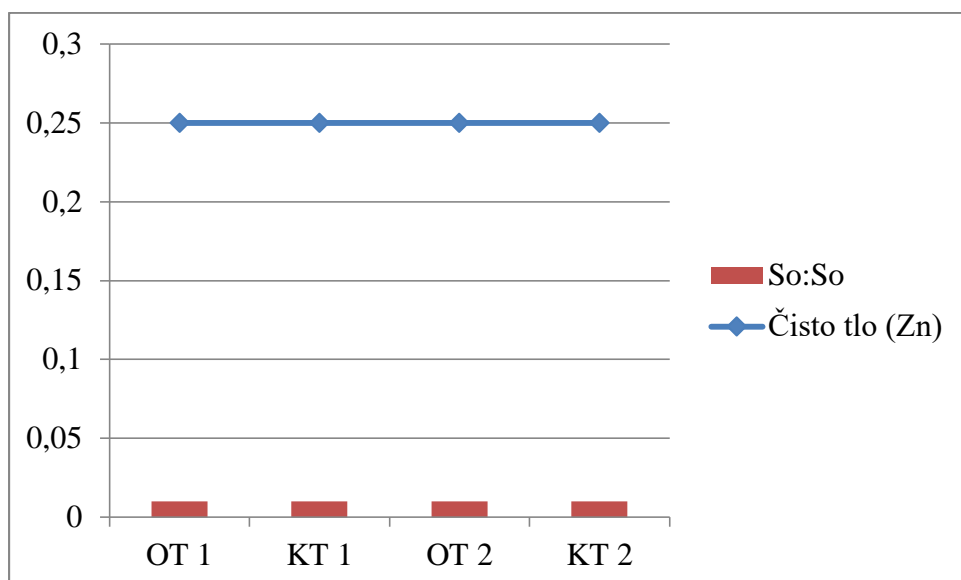
Slika 13. Onečišćenost šumskog tla bakrom (Cu)

Na slici 13. je prikazan stupanj onečišćenja šumskog tla bakrom (Cu). Na svim je pokusnim ploham odnos graničnog onečišćenja i utvrđenog onečišćenja bakrom bio ispod 0,25 što ga svrstava u I razred tj. u kategoriju čisto tlo.



Slika 14. Onečišćenost šumskog tla olovom (Pb)

Stupanj onečišćenja šumskog tla olovom (Pb) je također bio ispod graničnog 0,25. S obzirom na koncentracije olova tlo je I razreda tj. čisto tlo (slika 14).



Slika 15. Onečišćenost šumskog tla cinkom (Zn)

Odnos utvrđenog onečišćenja cinkom (Zn) s graničnom vrijednosti je iznosio 0,01. S obzirom na razrede onečišćenost, uzorci tala s pokusnih ploha pridaju u razred čistih tala (slika 15).

5. RASPRAVA

Šumski otvori na području istraživanja su nastali intenzivnim odumiranjem stabala obične jele, odnosno posljedično sanitarnom sječom takovih stabala. Prosječni intenziteti odumiranja stabala obične jele na području istraživanja su iznosili 18,3 m³/ha, a maksimalni su dosežali i do 113,0 m³/ha (Ugarković i dr. 2011).

U velikom šumskom otvoru smo utvrdili značajno veći postotak celulolitičkih gljiva i celulolitičkih bakterija. Možemo konstatirati da je mikrobiološka aktivnost u velikom šumskom otvoru bila veća u odnosu na sklopljenu sastojinu. Ovaj šumski otvor je prema kronici iz Programa gospodarenja gospodarskom jedinicom “Kobiljak - Bitoraj” star trinaest godina. Isto tako otvor je dobro pomlađen, ali s listopadnim vrstama kao što su obična bukva i gorski javor (Ugarković 2017). S obzirom da je ovaj šumski otvor dobro pomlađen, prirodni pomladak osigurava dovoljan dotok celuloze odnosno organskih ostataka (listovi, grančice) mikroorganizmima.

U malom šumskom otvoru nismo utvrdili značajne razlike u mikrobiološkoj aktivnosti u usporedbi s sklopljenom sastojinom (kontrolna ploha). Ovaj otvor je također dobro pomlađen s listopadnim vrstama šumskog drveća (Ugarković 2017), ali manji broj jedinki po m² u usporedbi s velikim šumskim otvorom. I u malom šumskom otvoru prirodno pomlađenje osigurava dovoljnu količinu celuloze i organskih ostataka mikroorganizmima. Mikrobiološki procesi se u jednakoj mjeri odvijaju u sklopljenoj sastojini i malom šumskom otvoru.

Ako usporedimo zastupljenost pojedinih funkcionalnih skupina mikroorganizama između velikog i malog šumskog otvora, jedina razlika je u postotku celulolitičkih gljiva. Njih je bilo manje u malom šumskom otvoru, u kojem je i manji broj biljaka prirodnog pomlađenja po m².

Uspoređujući mikrobiološku aktivnost nevitalne sastojine i sastojine smanjene vitalnosti, utvrdili smo značajno manji postotak celulolitičkih gljiva i bakterija. Sastojina smanjene vitalnosti ima veću osutost krošanja stabala obične jele i obične bukve u usporedbi s vitalnom. Povećana osutost stabala obične bukve je rezultat i ledoloma koji se dogodio na području

Gorskog kotara (Pleše 2014). Sastojina smanjene vitalnosti je u procesu odumiranja stabala i to uglavnom stabala obične jele. U sastojini smanjene vitalnosti nema prirodnog pomlađenja, niti obične jele, niti listopadnih vrsta.

Prema Andrzejczyk i dr. (1987) odumiranje stabala obične jele je povezano s izostankom prirodne obnove

Uslijed intenzivnog odumiranja stabala sastojina ima manju drvenu zalihu od normalne i sastojina je narušene preborne strukture. Sve su to razlozi zbog kojih sastojina smanjene vitalnosti ima manju mikrobiološku aktivnost u odnosu na vitalnu sastojinu. Prema Matiću i dr. (1996), između ostalih problema, današnje stanje jelovih prebornih šuma je obilježeno smanjenjem mikrobiološke aktivnosti i agresivnim pridolaskom bukve na račun obične jele, odnosno izostankom jelovog prirodnog pomlađenja.

Tlo na području istraživanja nije onečišćeno teškim metalima (Cd, Cu, Pb i Zn). Prema stupnju koncentracije ovih metala, tlo je čisto, odnosno pripada u I razred čistoće. Zbog stupnja čistoće šumskog tla, pretpostavljamo da koncentracija teških metala nije uzrok odumiranju stabala obične jele na području istraživanja. Zbog toga što nema onečišćenja tla s teškim metalima, nismo utvrdili značajnu korelaciju između koncentracije teških metala i mikrobiološke aktivnosti šumskog tla. Prema Vukadinović i Lončarić (1998) na raspoloživost bakra u tlu značajno utječe pH reakcija tla i pristupačnost mu raste s kiselosti. Ovim istraživanjem u šumskom ekosustavu obične jele s bukvom smo potvrdili prethodno iznesenu činjenicu jer smo utvrdili statistički značajnu i negativnu korelaciju između koncentracije bakra (Cu) i pH vrijednosti šumskog tla.

Utvrdili smo pozitivni i statistički značajnu korelaciju između koncentracije bakra i amonifikatora, što znači da se povećanjem koncentracije bakra u tlu, povećava i zastupljenost amonifikatora u tlu. Također prema Vukadinović i Lončarić (1998) fiziološka uloga bakra je vrlo značajna jer je on sastavni dio ili aktivator mnogih enzima koji sudjeluju u oksidacijskim procesima.

Prema Pernaru (2017) topljivost olova snažno korespondira s pH vrijednosti tla. Snižanjem pH vrijednosti povećava se i udjel topljivog olova u tlu. Prema našim rezultatima utvrdili smo statistički značajnu i negativnu korelaciju između koncentracije olova i pH vrijednosti tla, što

znači da s sniženjem pH vrijednosti se povećava koncentracija olova i tlu, pa shodno tome i njegova topljivost.

Olovo slovi za jedan od najozbiljnijih polutanata okoliša, ono nema esencijalni značaj, a toksičnost mu se manifestira kako u biljnoj tako i u animalnoj i humanoj fiziologiji (Pernar 2017). Na terenu smo utvrdili statistički značajnu i negativnu korelaciju između olova i celulolitičkih bakterija, što znači da s povećanjem koncentracije olova u tlu se smanjuje zastupljenost celulolitičkih bakterija.

6. ZAKLJUČAK

Na osnovu provedenog istraživanja, može se zaključiti:

- U velikim šumskom otvoru je utvrđeno značajno veći postotak celulolitičkih gljiva i bakterija u odnosu na sklopljenu sastojinu
- Nisu utvrđene statistički značajne razlike u mikrobiološkoj aktivnosti tla malog šumskog otvora i sklopljene sastojine
- U šumskoj sastojini smanjene vitalnosti je utvrđen značajno manji postotak celulolitičkih gljiva i bakterija u odnosu na vitalnu sastojinu
- Prema rezultatima istraživanja celulolitičke gljive su najviše osjetljiva, a amonifikatori su najmanje osjetljiva skupina mikroorganizama
- Drvna zaliha glavnih vrsta šumskog drveća je bila manja, a osutost krošanja je bila veća u sastojini smanjene vitalnosti
- Šumsko tlo na području istraživanja nije bilo onečišćeno metalima kadmij, bakar, olovo i cink
- Nije utvrđen utjecaj koncentracije metala na mikrobiološku aktivnost tala u šumskim otvorima
- Utvrđen je značajan utjecaj koncentracije bakra i olova na broj amonifikatora i na postotak celulolitičkih bakterija u vitalnoj sastojini

7.LITERATURA

1. Alexander, M., 1977: Introduction to Soil Microbiology. John Wiley and Sons, New York.
2. Andrzejczyk, T., S. Miścicki, T. Zachara, M. Zwieniecki, 1987: Natural regeneration of White fir in dyng outstands of Puszcza Jodłowa (white fir primeval forest). Annals of Warsaw Agricultural University 35: 3-10.
3. Anon 2012: Osnova gospodarenja gospodarskom jedinicom Kobiljak – Bitoraj ima vađenje od 1.1.2012. do 31.12.2021.
4. Anon., 1966: Priručnik za ispitivanje zemljišta i voda, Knjiga II, JDPZ, Beograd, 1966.
5. Anon., 2014: Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja. Narodne novine br. 9/2014.
6. Bašić, F. (1994): Trajno motrenje tla u okviru RZ Alpe, Alpe-Jadran i Podunavlje. U Poljoprivreda i gospodarenje vodama. - Priopćenja sa znanstvenog skupa. Bizovačke toplice. Str. 153-178.
7. Matić S., Oršanić M., Anić I. 1996: Neke karakteristike i problem prebornih šuma obične jele (*Abies alba* Mill.) u Hrvatskoj. Šumarski list 3-4:91-99.
8. Pernar, N. 2017. Tlo. Sveučilište u zagrebu Šumarski fakultet. Zagreb, str. 799.
9. Pleše V. 2014: Štete od ledoloma u Gorskom kotaru 2014. godine. Hrvatske šume broj 209 (5): 8-10.
10. Rozenbergar, D., Mikac, S., Anić, I. and Diaci, J. 2007 Gap regeneration patterns in relationship to light heterogeneity in two old-growth beech-fir forest reserves in South East Europe. Forestry 80. 431–443.
11. Runkle, J. R., 1982: Patterns of disturbance in some old-growth mesic forest of eastern North America. Ecology, 63: 1533-1546.
12. Schmidt, J. M., L. W. Belser, 1994: Autotrophic nitrifying bacteria. U: J. M. Bigham, (ur.), Methods of Soil Analysis. Part 2, Microbiological and Biochemical Properties, SSSA Book Series No. 5, SSSA, Madison, WI, str. 159-177.
13. StatSoft, Inc. 2003. STATISTICA for Windows. Tulsa: StatSoft, Inc.
14. Tate, R. L., 1995: Soil Microbiology. First edition, John Wiley and Sons, New York.
15. Tikvić, I., 2001: Mikrobiološka aktivnost tla i mikoriza u jelovim šumama. U: Prpić, B. (ur.), Obična jela (*Abies alba* Mill.) u Hrvatskoj, Akademija šumarskih znanosti i "Hrvatske šume" p.o.Zagreb, Zagreb, 277-279.
16. Ugarković D. 2017: Izvještaj o napretku projekta "Posljedice intenzivnog odumiranja stabala obične jele te sanacija područja odumiranja". Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Str. 12.

17. Ugarković, D., 2009: Utjecaj stanišnih i strukturnih čimbenika na odumiranje obične jele (*Abies alba* Mill.) u Gorskom Kotaru. Disertacija, Šumarski fakultet, Zagreb, str. 200.
18. Ugarković, D., Tikvić, I., Seletković, Z. 2011: Odnos stanišnih i strukturnih čimbenika prema odumiranju i ishrani stabala obične jele (*Abies alba* Mill.) u Gorskom kotaru. Croatian Journal of Forest Engineering 32(1):57–71.
19. Vukadinović, V., Lončarić Z. 1998: Ishrana bilja. Poljoprivredni fakultet Osijek. Osijek, str. 293.
20. Vukelić, J., 2012: Šumska vegetacija Hrvatske, str. 161-165.
21. <http://www.lika-express.hr/gospodarstvo/lag-lika-poziva>
22. <http://javni-podaci.hrsume.hr/sumarija.asp?id=KC>
23. <https://hr.wikipedia.org/wiki/Fu%C5%BEine>